

## AUTOMATYCZNA INTERPRETACJA KSZTAŁTU KAWERN MIERZONYCH ECHOSONDĄ CHEMKOP

**Automatic interpretation of cavern shape measured through  
the use of the CHEMKOP echo sounder**

**Michał KOŚCIUSZKO & Bartłomiej RAŁOWICZ**

*Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych CHEMKOP Sp. z o.o.;  
ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków; e-mail: sonda@chemkop.pl*

**Abstract:** The paper contains a brief description of the measurement equipment and measurement techniques used to determine the shape of caverns measured through the use of the CHEMKOP echo sounder. It also explains how the program AutoInter2007 for automatic interpretation of measurement data works.

**Key words:** measurement equipment, ultrasonic probe, tilted head, digital recording system, professional computer software AutoInter2007

### APARATURA I TECHNOLOGIA REJESTRACJI DANYCH

W celu lepszego objaśnienia zagadnienia automatycznej interpretacji kształtu komór niezbędnym jest podanie podstawowych informacji o stosowanej aparaturze pomiarowej i technologii pomiarów.

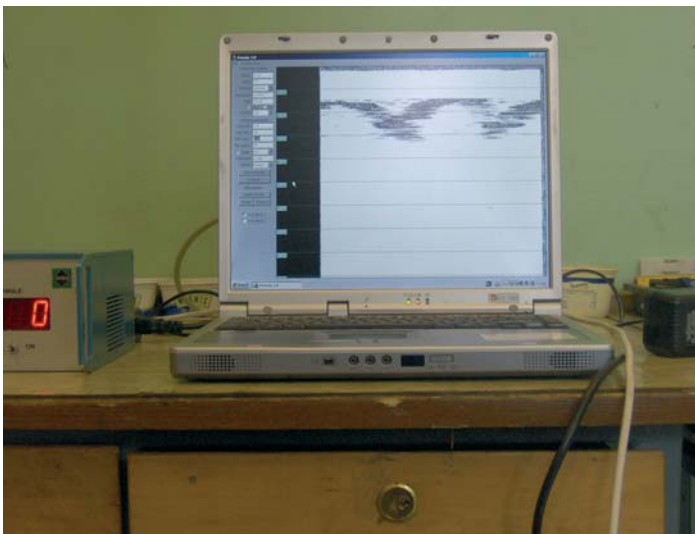
W naszej echosondzie stosujemy przetworniki magnetostrykcyjne o konstrukcji powodującej emisję asymetrycznej wiązki energii. Wiązka ta ma teoretyczny kąt rozwarcia ok. 40° w poziomie i 3° w pionie. Sonda pomiarowa uzbrojona w tego typu przetwornik posiada możliwość obrotu głowicy o 360° i jej wychylenia od -90° do +90°. Głowicę echosondy pokazano na figurze 1.

Pomiar polega na wykonaniu zespołu przekrojów poziomych komory obracającym się, ustawionym w pozycji pionowej, przetwornikiem. Na każdej zadanej głębokości wykonywany jest pełny obrót przetwornika. Impulsy nadawania powtarzane są z częstotliwością 5 Hz, a więc co 200 ms. Czas obrotu przetwornika wynosi ok. 180 s. Tak więc w czasie wykonywania pomiaru jednego przekroju poziomego komory sygnał wysyłany jest 900 razy i tyle samo razy uzyskuje się jego odbicie od ścian kawerny. Po wykonaniu pełnego obrotu przetwornik automatycznie się zatrzymuje. W chwili gdy przetwornik skierowany jest na północ magnetyczną, z elektrokompasu wysyłany jest impuls. Każdy pomiar rejestrowany jest w zapisie cyfrowym.



**Fig. 1.** Wychylna głowica echosondy

W strefach komory, w których występują elementy ściany kawerny niemożliwe do obserwacji w płaszczyźnie poziomej (strop, spąg, możliwe kieszenie boczne), wykonuje się pomiar z użyciem głowicy uchylnej. Rutynowo wykonuje się tego typu pomiary w strefie stropowej i spągowej komory. Sondę umieszcza się na odpowiednio dobranej głębokości – zwanej „głębokością bazową” – i wykonuje się pomiar, wychylając stopniowo głowicę od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ . Przy każdym wychyleniu głowicy wykonuje się pełny obrót przetwornika. W strefach innych niż stropowa i spągowa głębokość bazową i zakres kątów wychylenia głowicy wyznacza się na podstawie wcześniej wykonanych i zinterpretowanych przekrojów poziomych komory.



**Fig. 2.** Zestaw aparatury rejestrującej

Zestaw aparatury rejestrującej składa się ze stacji nadawczo-odbiorczej, komputera i pulpitu do sterowania sondą (Fig. 2). Odpowiednie oprogramowanie umożliwia rejestrację danych. Rejestrowany jest cały sygnał bez jakiegokolwiek wstępnej obróbki. Umożliwia to wielokrotne wykorzystywanie pełnych danych pomiarowych w procesie interpretacji.

W wyniku opisanych wyżej pomiarów powstaje komplet rejestracji cyfrowych reprezentujących kształt komory, będący podstawowym materiałem dla naszego programu służącego do odczytania kształtu komory. Program ten nosi nazwę AutoInter2007.

## ECHOGRAM

Tradycyjny echogram zastąpiony jest plikiem danych reprezentujących pomiar pojedynczego przekroju komory wykonany przetwornikiem wychylonym lub nie.

Przykładowy echogram wyświetlony w programie AutoInter2007 przedstawiono na figurze 3.

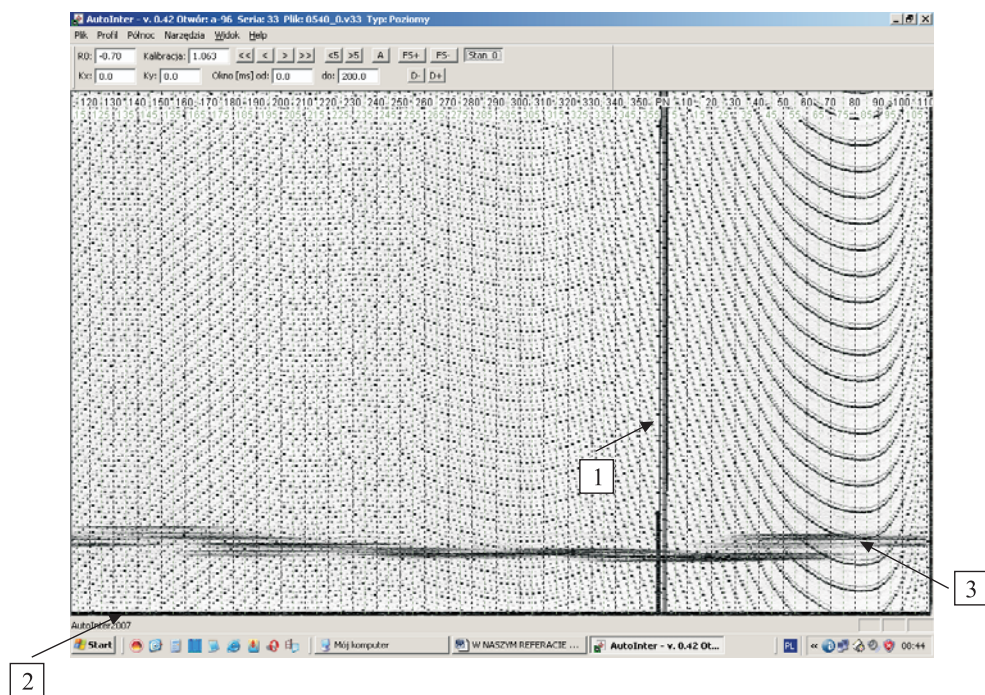


Fig. 3. Przykładowy echogram wyświetlony w programie AutoInter2007

Każdy taki echogram powstaje przez zapisanie  $180 \text{ s} \cdot 5 \text{ Hz} = 900$  rekordów o długości 200 ms. Przy prędkości ultradźwięków w solance ok. 1800 m/s daje to zasięg pomiaru około 180 m promienia mierzonej komory. Każdy rekord to 2000 par liczb, czyli co  $180 \text{ m}/2000 = 9 \text{ cm}$ . Jak już wspomniano wyżej, sygnał nie jest filtrowany przed zapisem

i dlatego rejestrują się również sygnały zakłócające. Zarejestrowany jest również znacznik północy, tzn. zaznaczony jest moment, w którym przetwornik był skierowany na północ magnetyczną, co na rysunku oznaczono jako (1). Na echogramie widoczny jest również pasek echa nadawanego (2) i pas ech odbitych od ściany (3). Każdy echogram ma długość 3600 i szerokość ok. 180 m. Odczytanie kształtu komory polega na wyznaczeniu na pasie ech linii interpretacyjnej. Pas ech składa się z szeregu ech elementarnych o kształcie soczewek. Każde echo reprezentuje punkt lub fragment łuku na ścianie komory. Schemat powstawania echa elementarnego pokazano na figurze 4.

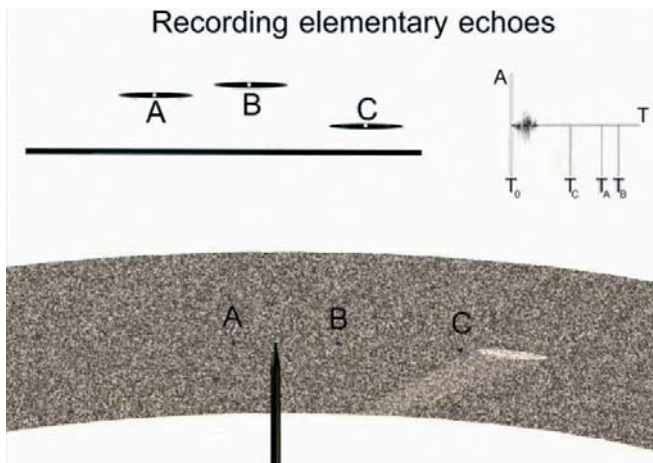


Fig. 4. Schemat powstawania echa elementarnego

Ściana każdej komory zbudowana jest z wielu elementów, z których wiele ma płaszczyznę prostopadłą do promienia komory, w sumie będących zwierciadłem dla wiązki ultradźwiękowej. Gdy prawy skraj wiązki obejmie takie zwierciadło, rozpoczyna się rejestracja echa odbitego od niego. Rejestracja ta kończy się, gdy lewy skraj wiązki wyjdzie z obszaru będącego reflektorem dla wiązki ultradźwiękowej. Punkt leżący w środku echa elementarnego stanowi punkt interpretacyjny. Na figurze 4 punkty interpretacyjne ech elementarnych oznaczono jako A, B i C. Znając głębokość, na której znajdowała się sonda, ewentualny kąt wychylenia przetwornika, azymut punktu interpretacyjnego oraz jego odległość od sondy, można odczytać położenie badanego elementu komory w przestrzeni. Do odczytania odległości tego elementu od sondy w metrach niezbędna jest znajomość prędkości rozchodzenia się ultradźwięków w mierzonym środowisku. Pomiar tej prędkości wykonuje się odrębną sondą.

## PROGRAM AUTOINTER2007

Do odczytania promieni komory, z uwzględnieniem prędkości, służy program Auto-Inter2007.

Po uruchomieniu programu otwiera się plansza powitalna (Fig. 5).

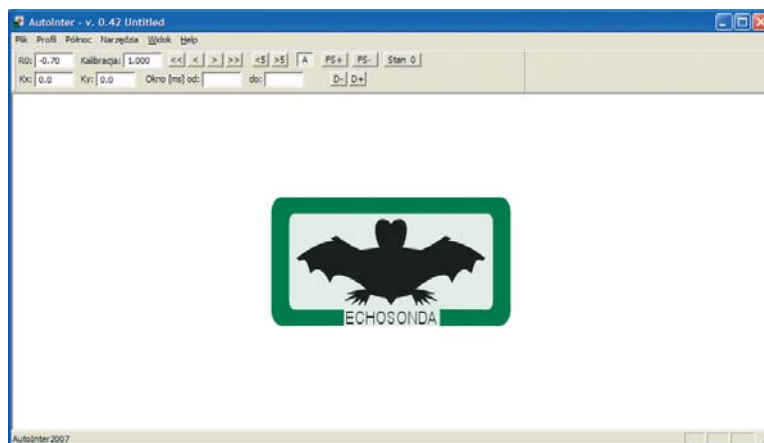


Fig. 5. Plansza powitalna programu AutoInter2007

W górnej jej części znajduje się pasek menu, za pomocą którego można uruchomić różne funkcje programu odpowiadające za:

- gospodarkę plikami pomiarowymi – *Pliki*,
- gospodarkę profilami wykonanymi podczas ruchu sondy w osi pionowej komory – *Profil*,
- wyznaczanie kierunku północy – *Północ*,
- zestaw narzędzi do przetwarzania plików – *Narzędzia*,
- wyświetlanie planszy programu w różnych wersjach – *Widok*,
- pomoc – *Help*.

Oprócz menu w oknie głównym wyświetlonych jest szereg informacji i funkcji, których znaczenie zostanie opisane w dalszej części artykułu.

Po uruchomieniu menu *Plik* pojawiają się funkcje (Fig. 6).

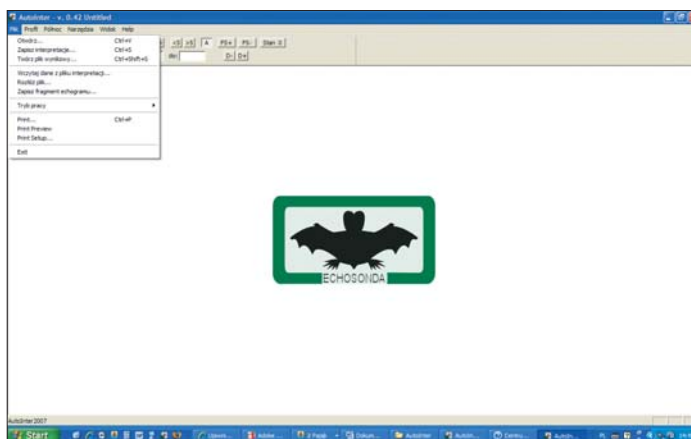


Fig. 6. Funkcje dostępne w menu *Plik*

Pierwszą funkcją jest *Otwórz*, służąca do otwarcia pliku pomiarowego. Po uruchomieniu tej funkcji pojawia się następujące okno dialogowe (Fig. 7).

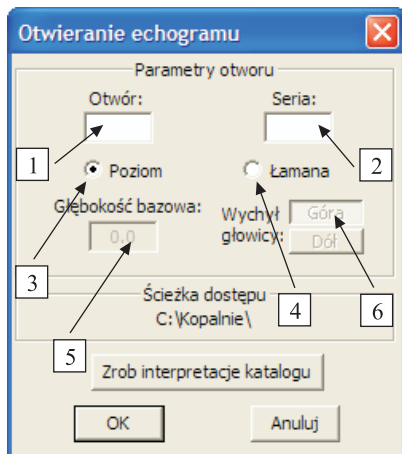


Fig. 7. Okno dialogowe funkcji *Otwórz* dla przekrojów poziomych

W oknie tym wpisywane są dane pliku pomiarowego, takie jak: numer otworu (1), kolejny numer pomiaru (2), rodzaj pomiaru – przekrój poziomy komory (3) lub przekrój komory wykonany głowicą odchyloną od pionu (4). W przypadku tego ostatniego rodzaju pomiaru należy podać głębokość, na której znajdowała się sonda (5), oraz kierunek wychylenia przetwornika dół – góra (6). Po podaniu wymaganych danych i ich zaakceptowaniu otwiera się lista echogramów o podanych parametrach.

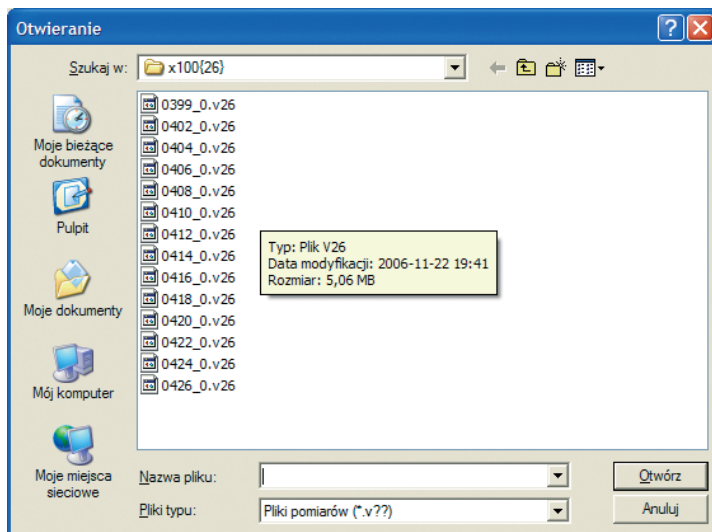


Fig. 8. Okno wyboru pliku z listy plików przekrojów poziomych

Okno zilustrowane na figurze 8 przedstawia listę plików dla przekrojów poziomych uzyskanych z pomiarów komory X100 seria 26, uszeregowanych według głębokości.

W przypadku przekrojów wykonanych przetwornikiem wychylonym do góry, np. dla otworu X100 z pomiaru 26 i głębokości 405 m, pokazano wypełnione okno dialogowe oraz listę echogramów uporządkowanych według narastającego kąta wychyłu przetwornika (Fig. 9, 10).

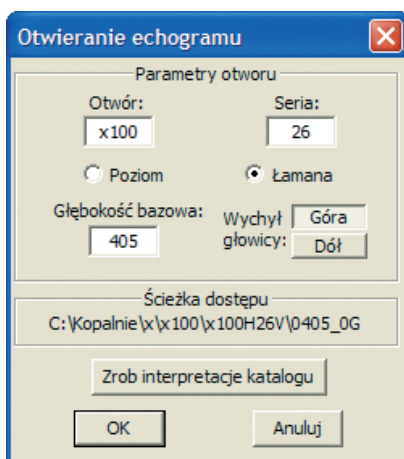


Fig. 9. Okno dialogowe funkcji *Otwórz* dla wyników uzyskanych przetwornikiem wychylonym

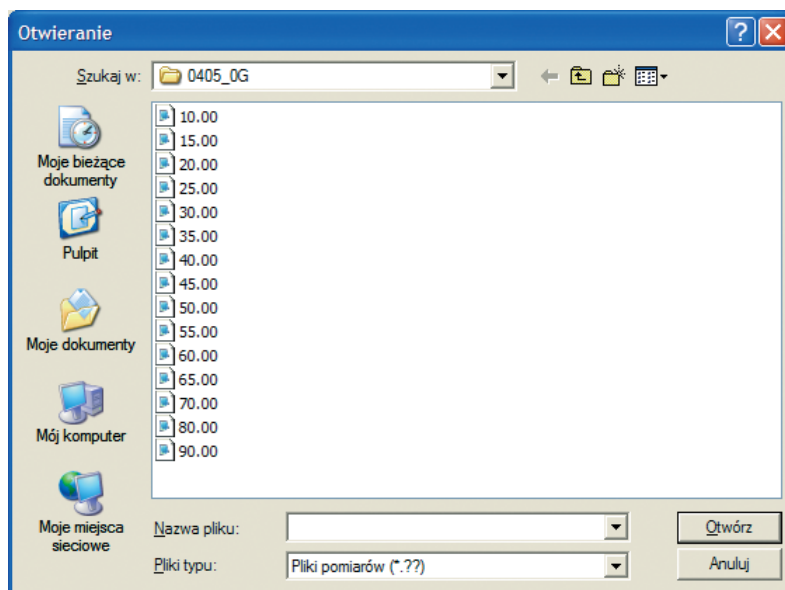


Fig. 10. Okno wyboru pliku z listy plików wyników uzyskanych przetwornikiem wychylonym

Po wybraniu pliku z jednej z list i i wykonaniu komendy *Otwórz* otwarty zostaje dany echogram w jednym z dwóch trybów: z zaproponowaną automatyczną interpretacją obrysu ścian komory lub echogram „wyczyszczony”, po użyciu filtracji, gotowy do interpretacji ręcznej, co obrazują figury 11 i 12.

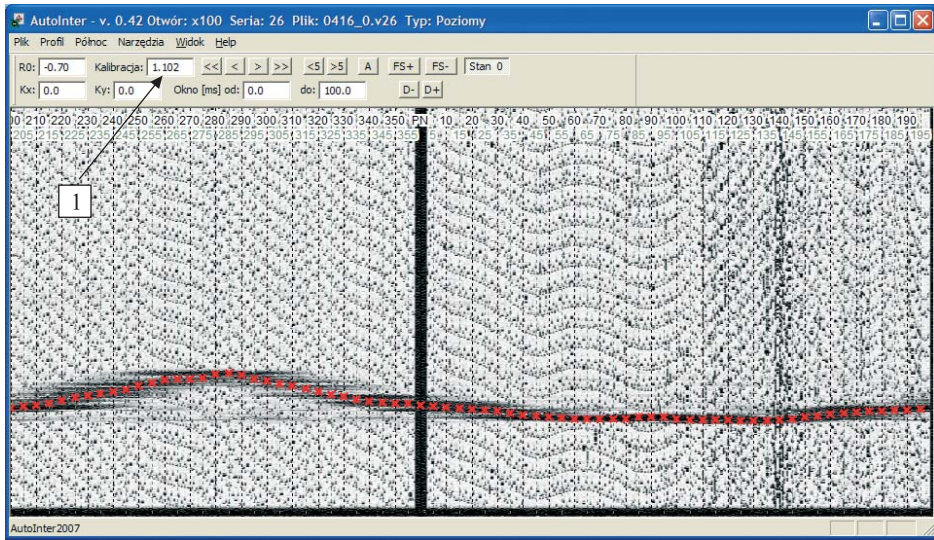


Fig. 11. Echogram z wyświetloną linią interpretacyjną – obraz bez filtracji sygnału

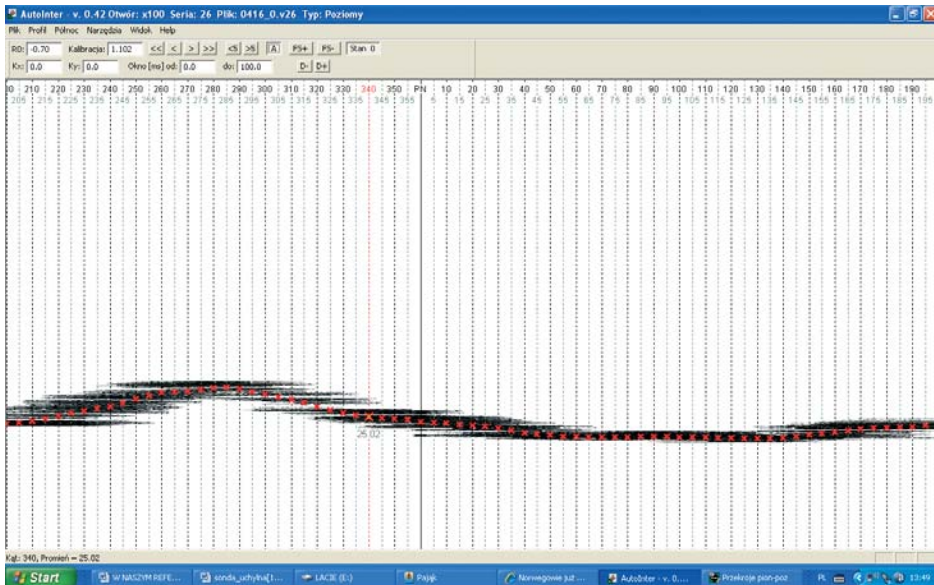


Fig. 12. Echogram z wyświetloną linią interpretacyjną – obraz po filtracji sygnału



Echogram z wyświetloną linią interpretacyjną powstaje po włączeniu przycisku „stan 0”. Jego działanie polega na wykonaniu interpretacji echogramu po przefiltrowaniu i następnie włączeniu oryginalnego wyglądu echogramu. Funkcja została opracowana po to, aby operator mógł obserwować, czy w procesie automatycznej interpretacji nie zostały pominięte echa elementarne, istotne dla kształtu komory, a usunięte przez filtry. W razie wystąpienia takiej sytuacji operator może zweryfikować wykonaną interpretację, uwzględniając nieuwzględnione echo.

W oknie oznaczonym jako (1) pokazany jest współczynnik kalibracji pobrany automatycznie z pliku zawierającego dane z profilowania prędkości. Współczynnik ten podaje, ilu milisekundom odpowiada 1 m odległości liczonej od sondy do ściany komory. W tym przypadku to 1.102 ms.

Kolejną funkcją w menu *Plik* jest *Zapisz wynik interpretacji*. Po jej użyciu następuje zapis interpretacji pojedynczego echogramu. W przypadku przekroju poziomego komory (wykonanego przetwornikiem nie wychylonym) jest to zapis 72 promieni komory (co 5 stopni) oraz głębokości, na której został wykonany przekrój. W przypadku przekroju wykonanego przetwornikiem wychylonym zapisywane są również 72 promienie, głębokość, na której umieszczono sondę, oraz kąt wychylenia przetwornika.

W menu *Plik* dostępna jest również funkcja *Twórz plik wynikowy* ze wszystkich wykonanych interpretacji, odrębnie dla przekrojów poziomych i dla pomiarów z wychyloną głowicą (dla każdej głębokości bazowej osobno).

W przypadku użycia funkcji *Twórz plik wynikowy* dla przekrojów poziomych pojawia się okno dialogowe zilustrowane poniżej. W oknie tym automatycznie wpisany jest numer otworu, numer pomiaru i aktualna data. Ręcznie należy uzupełnić wymagane dane dotyczące położenia stropu i spągu komory oraz zewnętrznych i wewnętrznych rur eksploatacyjnych. Po uzupełnieniu tych danych i ich zaakceptowaniu tworzony jest plik wynikowy ze wszystkich zinterpretowanych echogramów przekrojów poziomych (Fig. 13).

Parametry otworu		Geologiczne parametry otworu	
Otwór:	Seria:	Strop:	Spąg:
a100	26		
Data:		Rury wewn.:	Rury zewn.:
09	: 04		
	: 02		
<input checked="" type="checkbox"/> Delete files after combine		Kalibracja:	10 ms:
		1.000	
Plik wynikowy			
C:\Kopalnie\A\A100\A100(26).000			
OK		Anuluj	

Fig. 13. Okno dialogowe funkcji *Twórz plik wynikowy* dla przekrojów poziomych

Podobnie powstaje plik wynikowy tworzony z echogramów uzyskanych głowicą wychyloną. Trochę inne są dane wymagane do utworzenia pliku, co pokazuje poniższe okno (Fig. 14).

Fig. 14. Okno dialogowe funkcji *Twórz plik wynikowy* dla wyników uzyskanych przetwornikiem wychylonym

Podany jest nie tylko numer otworu i pomiaru oraz data, ale również głębokość bazowa i kierunek wychylenia przetwornika góra – dół, pozostałe dane są identyczne.

Istotną różnicą w zawartości tych plików. Pliki przekrojów poziomych zawierają dane o przekrojach poziomych komory na głębokościach, na których wykonywano pomiar. Każdy przekrój jest opisany 72 promieniami (co 5°) oraz głębokością, na której został wykonany. Plik utworzony z rejestracji wykonanych głowicą wychyloną od pionu składa się zawsze z 72 przekrojów pionowych (co 5°). Podana w nim jest również głębokość bazowa oraz kierunek wychylenia przetwornika góra – dół. Dla każdej głębokości bazowej jest tworzony odrębny plik.

Połączenie wszystkich tych plików daje przestrzenny obraz komory (łączenie to odbywa się w odrębnym programie, który nie jest przedmiotem artykułu).

Dodatkową funkcją menu *Plik* jest odczytywanie kontrolne interpretacji pojedynczych rejestracji w celu ich weryfikacji przez innego operatora.

Kolejnym menu w omawianym programie jest menu *Profile* służące do obsługi plików uzyskanych podczas rejestracji obrazu komory przy ruchu pionowym sondy i nieruchomym przetworniku. Echogramy te służą do określenia położenia rur wewnątrz komory i stropu komory. Przykład takiego echogramu profilowania pionowego przedstawiono na figurze 15, na której widoczny jest strop komory (1) i położenie buta rur (2).

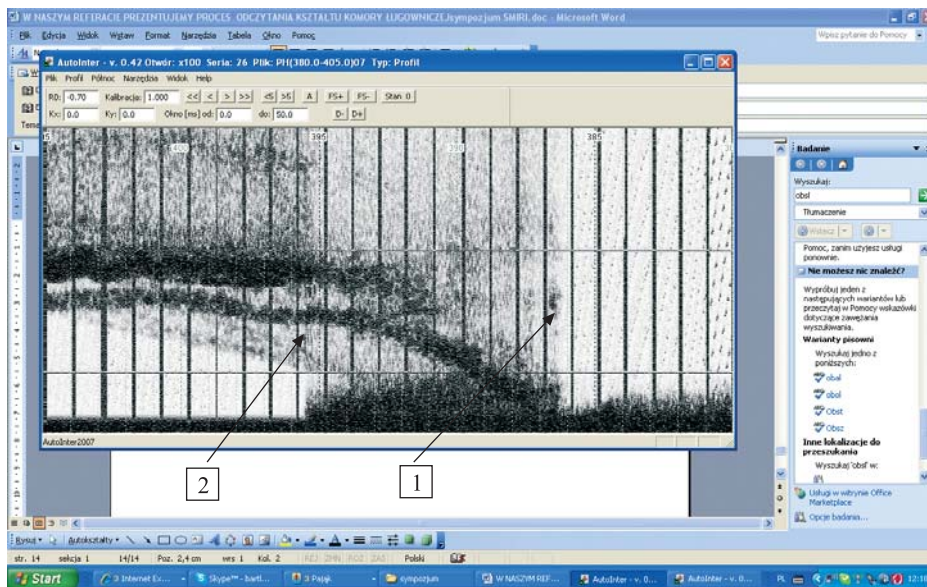


Fig. 15. Przykład echogramu profilowania pionowego – menu *Profile*

## PODSUMOWANIE

Podsumowując, określmy kluczowe elementy systemu pomiarowego echosonda CHEMKOP.

Po pierwsze, zestaw pomiarowy wyposażony jest w sondę ultradźwiękową z uchyną głowicą.

Po drugie, system cyfrowej rejestracji umożliwia rejestrację sygnałów ultradźwiękowych bez wstępnej filtracji.

Po trzecie, profesjonalne własne oprogramowanie komputerowe (AutoInter2007), dzięki zawartym w nim narzędziom zdecydowanie skraca czas interpretacji echogramów, a tym samym dostarczenia raportu z pomiarów do klienta.